

GEOLÓG I

NYT FRA GEUS

TEMANUMMER BALKAT

Østersøen uden grænser

NR. 4 DECEMBER 2002

BALKAT

Østersøen uden grænser



Jørn Bo Jensen
Antoon Kuipers
Ole Bennike og
Wolfram Lemke

(Institut for Østersøforskning i Wardemünde)



Formålet med BALKAT projektet er at undersøge den geologiske udvikling siden sidste istid i Østersøen vest for Bornholm og forbindelsesvejene til verdenshavet via de danske stræder. Resultaterne danner grundlaget for tolkning af de geologiske aflejringsmiljøer, fordelingen af land og vand samt den geologiske udviklings mulige indflydelse på klimahistorie, miljøhistorie og kulturhistorie i Østersøområdet.



Den historiske baggrund for arbejdet

Fra 40 års DDR til påbegyndelsen af BALKAT

Indtil 1990 havde Skov- og Naturstyrelsen ansvaret for efterforskning, kortlægning og undersøgelse af sand og grus forekomster på havbunden i de indre danske farvande dvs. Kattegat, Bælthavet og den vestlige del af Østersøen.

Til varetægelse af dette arbejde blev der ansat en gruppe maringeologer som gennemførte seismiske undersøgelser og prøveudtagninger i havbundens overfladenære lag.

Sent på efteråret i 1988 var turen kommet til kortlægning af Gedser Rev og den danske del af Kriegers Flak, som ligger øst for Møns Klint. I begge disse områder grænser det danske territoriale farvand op til Østtyskland (det tidligere DDR). Den logiske konsekvens af dette var at indlede et samarbejde med nabostaten DDR for at få en bedre forståelse af havbundsforholdene og de geologiske strukturer i hele området på begge sider af den politiske grænse.

Den første kontakt

Derfor blev der allerede i vinteren 1988-1989 taget kontakt til "Institut für Meereskunde", i Warnemünde, som var det institut i DDR der bl.a. tog sig af Østersøens bundforhold og hydrografi.

Et positivt svar fra direktøren, Professor Dieter Lange, blev fulgt op af et besøg på "Institut für Meereskunde", hvor en aftale om samarbejde i feltzonen (1989-1990)



Figur 1. Udsnit af teksten fra den historiske aftale mellem DDR og Danmark om maringeologisk samarbejde i feltperioden 1989-1990.

blev indgået (Figur 1). Dette første besøg blev således foretaget medens Østtyskland stadig var DDR med alle sikkerhedsprocedurer intakt, og sidst men ikke mindst blev der udvist en ikke ringe interesse for at rekruttere fremmede kontakter via venlig

landske gæster blev optaget. For folk af mere paranoid natur stod dette dog allerede klart fra det øjeblik man trådte ind på hotellet.

Det første togt

Det første fælles togt blev foretaget i oktober 1989 ombord på R/V Professor Penck og gik til Kriegers Flak (Figur 2). Togtet faldt sammen med den officielle 40 års fødselsdagsfest for DDR, som i øvrigt kort efter blev efterfulgt af Berlinmurens fald. Det er dog sandsynligvis kun et tilfælde at det geologiske samarbejde til søs blev aktualiseret samtidig med den politiske omvæltning. Allerede i september havde vi foretaget et seismisk togt i Gedserområdet med det danske skib "Marie Miljø" som havde fået tilladelse af DDR til at foretage undersøgelser også i det tilgrænsende DDR farvand.

Efter afslutningen af opmålingerne på dansk side sejlede skibet således ind i DDR farvand, blot for efter kort tid at blive kaldt tilbage til dansk havn over radioen, tilsyneladende af militære (politiske) grunde. I den forbindelse bør det nævnes at mandskabet på "Marie Miljø", var fra den danske marine.



Figur 2. Forskningsskibet R/V Professor Albrecht Penck.

"intervention" fx i en Bierstube. Vores høj-røstede samtale på tysk i hotelværelset, må have bidraget til at hæve arbejdsrummet i det tilhørende lyttecenter, hvor det senere kom frem at al konversation mellem uden-

Det fortsatte arbejde

Det fejlslagne første forsøg øgede kun interessen for forberedelserne til den næste fælles feltperiode i Gedser området og Fakse Bugt (Figur 3 og 4) ombord på forsk-

Figur 6. DDR Institutionsbanner overrakt under "Marie Miljø" sejlads i DDR farvand i 1990.



Figur 3. Forskningskibet R/V A. von Humboldt.

ningsfartøjet R/V "A. von Humboldt". Arbejdet bestod i udførelsen af vibrationsboringer i havbunden. Desuden blev der gennemført et lille seismisk togt med "Marie Miljø" (Figur 5) i DDR farvand mellem Ged-

ser og Darss i Østtyskland. Alle aktiviteterne forløb med succes, selv om togtet med R/V "A. von Humboldt" i april 1990 ikke forløb uden diplomatiske problemer idet skibet måtte vente uden for dansk ter-

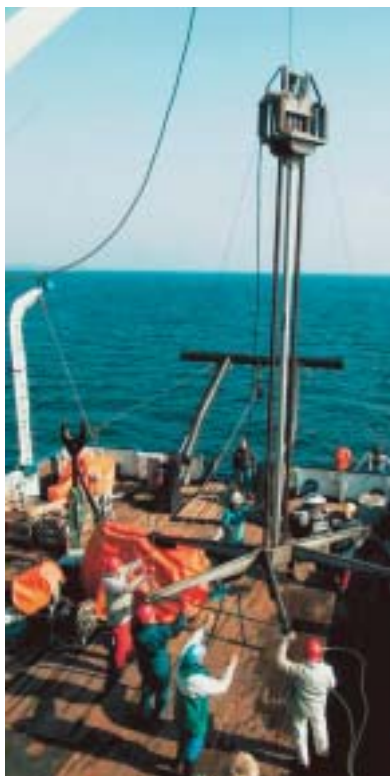
ritorial farvand i 3 påskedage for at afvente den endelige tilladelse til at begynde arbejdet med indsamling af et stort antal højkvalitets borekerner ved hjælp af vibrationsboringerne.

DDR boreudstyret var af så høj kvalitet at det efter nogen diskussion blev besluttet at indkøbe et eksemplar til de danske undersøgelser (Figur 4). Det var ikke så simpelt endda da det at købe teknisk udstyr fra DDR ikke blev anset for politisk korrekt. Desuden var det ikke nemt at overbevise folk om rigtigheden af at et produkt fra et "Østland" kunne udkoncurrere tilsvarende udstyr fra den vestlige verden. Nu, mere end 10 år efter benytter GEUS stadig boreudstyret, dog er det gennem tiden blevet forbedret på en række punkter.

Det planlagte seismiske togt i DDR farvand med "Marie Miljø", blev gennemført i juni måned 1990 og denne gang efter planerne (Figur 6). Der var dog denne lille detalje at skønt tilladelsen var kommet hurtigt fra myndighederne i DDR, så havde de åbenbart glemt at orientere den lokale fiskeri- og kystkontrol. Dette medførte en heftig radio konfrontation med et af deres skibe ud for "Fischland" nordøst for Warnemünde. Det viste sig noget nemmere senere at transportere de originale seismiske data til Warnemünde, da DDR grænsepoliti afslørede et fortræffeligt uddannelsesniveau ved umiddelbart at kunne identificere et stort antal papirruller som seismiske optagelser.

Bearbejdelse af data

De indsamlede boringer og seismiske optagelser blev i den følgende periode benyttet i interne rapporter fra Skov- og Naturstyrelsen og senere fra Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU), som den maringeologiske gruppe i mellemtiden var overflyttet til.



Figur 4. Vibrationsboring under udførelse fra R/V "A. von Humboldt" med DDR boreudstyr.



Figur 5. Seismik sejlads med "Marie Miljø".



Figur 7. Seks personer bærer i procession sedimentkernen fra dækket ind i laboratoriet medens de rituelle ord "nicht knicken" (ikke knække) gentagne gange bliver udtalt.

Samtidig blev det besluttet at publicere de nye indsamlede data fra Gedser Rev – Darss Schwelle i en fælles dansk/tysk international publikation. Dette blev realiseret efter endnu et fælles togt, denne gang med R/V "Littorina" fra Kiel. Denne publikation (Lemke et al. 1994) skulle blive den første i en lang række som blev publiceret i de følgende år. I mellemtiden var DDR blevet "nedlagt" og i Tyskland blev det diskuteret hvordan "Institut für Meereskunde" skulle/kunne overleve som institution.

På trods af den megen usikkerhed fortsatte samarbejdet og en ny officiel aftale blev formuleret for det fremtidige samarbejde. Midt i denne overgangsperiode lykkedes det for instituttet i Warnemünde at afholde den 4. internationale maringeologiske konference om Østersøen. Her viste DGU sit engagement ved at sende en større delegation.

Som afslutningen på den usikre periode i Warnemünde måtte direktøren i december 1991 officielt erklære "Institut für Meereskunde" for nedlagt og dermed markere afslutningen på den østtyske indsats på det maringeologiske område, hvor man havde været aktiv verden over. Takket være succesfuld diplomatisk forsvar fra Professor Lange og hans stab kunne næsten alle ansatte fortsætte deres arbejde i den nye institution som blev etableret samme sted i februar 1992.

Den nye institution "Institut für Ostsee-

forschung", Wardemünde (IOW) fik, og har stadig til opgave at gennemføre undersøgelser i Østersøen hvilket har sikret det fortsatte samarbejde der er praktiseret gennem BALKAT projektet, som beskrives nærmere i det følgende.

En arbejdsdag ombord på R/V "A. von Humboldt"

Ved afslutningen af DDR æraen indtraf der et markant skift i den daglige rutine ombord, blandt andet en fascinerende tradition tidligt om morgenen. Dagen startede, for alle ombordværende videnskabelige medarbejdere kl. 05.15 med, at et medlem af besætningen højlydt åbnede kahytzdøren og råbte "reise, reise" (så står vi op), samtidig med at lyset blev tændt. For dem der overlevede dette chok var der god tid til at gøre morgentoilette inden kl. 6.00, hvor morgenmaden blev serveret. Efter at have indtaget en halv kvadratmeter skinke og rørbæg eller en T-bone steak i familiestørrelse var folk lysvågne kl. 6.30, hvorefter det var tid til personlig meditation, da der ikke skete noget før kl. 8.00, hvor arbejdet på dækket begyndte.

Det eneste tilbageværende fra den tid er et overdådigt morgenmåltid med adskillige menuer, som varierer fra dag til dag, men som serveres kl. 7.30, så det passer med begyndelsen af dagens arbejde ombord.

Arbejdet ombord består i udtagning af

6 m lange sedimentkerner fra havbunden ved hjælp af vibrationsboringer og seismisk kortlægning af de overfladenære bunds-sedimenter. Indsamlingen af de seismiske data bygger på brugen af lyd eller en anden form for energi som sendes (transmitteres) fra energikilder der er fastmonteret på skibet eller som slæbes efter skibet. Energien som tilbagekastes fra havbunden og fra lag under havbunden bliver registreret, databehandlet og giver sluttelig et billede af havbunden og de geologiske strukturer under havbunden. Havbundens overflade afbildes af "Side-scan sonaren", som kan afsløre bundformer og mere generelt ændringer i havbundstopografi og overfladesedimenter. "Airgun", "Sparker", "Boomer", "Pinger" og "Chirp sonar" er alle instrumenter som giver information om større eller mindre strukturer under havbunden. Rækkefølgen på de listede instrumenter angiver muligheden for at kunne vise mindre og mindre strukturer i havbunden. Yderligere information om det seismiske udstyr kan læses i DGU information nr. 4 fra 1995 og i GEOLOGI Nyt fra GEUS nr. 4 fra 1998.

Arbejdet med det tunge vibrationsboregrej foregår i dagslys, medens favoritdisciplinen efter aftensmaden er indsamling af seismiske data, efterbehandling af boreresultaterne samt indtagelse af en enkelt Rostocker øl. På den måde bliver arbejdsdagen nemt på mindst 16 timer inden der tørnes ind.

Det er kritisk under boreprocessen at



Figur 8. Haps core klar til overflade prøvetagning.



Figur 9. Detaljeret beskrivelse af sedimenterne efter at kernen er splittet på langs.

skibet holdes på en fast position hvilket kræver at der udlægges både et anker for og agten for skibet, samt at vind, strøm og bølger er samarbejdsvillige. Dette er ikke altid tilfældet, men på de heldige dage hvor også teknikken fungerer optimalt, vil man kunne iagttage et hold på mindst 6 personer som i procession bærer sedimentkernen fra dækket ind i laboratoriet medens de rituelle ord "nicht knicken" (ikke knække) gentagne gange bliver udtalt (Figur 7). Som alternativ til 6 m borerne kan man tage mindre overfladeprøver med "Grab", "Box core", "Haps core" (Figur 8) eller mindre "faldprøver", hvilket kun kræver at skibet ligger stille uden at ankre op.

Når sedimentkernen er ankommet sikkert til laboratoriet bliver den splittet på langs i to halvdele og der bliver foretaget en detaljeret sedimentologisk beskrivelse

(Figur 9). Arbejdet omfatter fotografering af kernen, bestemmelse af sedimenttype og farve (baseret på en reference farveskala) samt af karbonat indhold. Forestillingen afsluttes normalt med et højt kvalificeret gæt på den præcise alder af kernen. For det meste er det dog ikke det største diskussions-emne i laboratoriet, da der ofte er mere inspirerende emner. Sidst men ikke mindst bliver der foretaget et intensivt prøvetagningsprogram, hvor en endeløs række af plastikposer bliver fyldt med sediment og en totalt ødelagt kerne ligger tilbage. Afslutningsvis bliver laboratoriet rengjort af et højt kvalificeret team bestående af seniorforskere.

Af nogle eksperter bliver der ligeledes udført et tungt arbejde i skibsmessen med indtagelse af den varme frokost og aftensmad. Dette arbejde har gennem længere tid været kendt som "belly building" hvilket er en fortræffelig anbefaling af de højkvalitetsmåltider, som dagligt bliver tilberedt med henblik på indtagelse i "BBC", hvilket betyder Belly Building Centre (copyright: T. Flodén, Stockholm) og er et alternativt navn for skibets messe.

Medens den obligatoriske sikkerhedsøvelse normalt kun foregår en enkelt gang i begyndelsen af toget så lyder der på R/V "A. von Humboldt" mange dage alarmsignalet "Jetzt geht es los" (så går det løs). Dette alarmsignal bliver testet umiddelbart efter frokost, hvilket bringer det meste af mandskabet til depotet med "tax-free" på det nedre dæk. Dette er i skærende kontrast til den normale sikkerhedsalarm som sædvanligvis kræver at man samles på øverste dæk. Der bliver imidlertid ikke slækket på disciplinen på nedre dæk hvor deltagerne bliver linet op på en række foran et tilsyneladende nødsituationscenter. Den succesfulde gennemførelse bidrager naturligvis til en mere afslappet daglig rutine og atmosfære ombord.

Sammenfattende kan det siges at arbejdsforholdene og ånden ombord på R/V "A. von Humboldt", sammen med den ekspertise kaptajnen og hans mandskab udviser har spillet en fundamental rolle gennem årene. Uden dette kunne BALKAT projektet ikke være realiseret.

BALKAT

et maringeologisk projekt

Det var ikke kun i DDR der skete store forandringer. Også i Danmark skete store, om end knap så dramatiske, forandringer. Den maringeologiske gruppe fra Skov- og Naturstyrelsen blev overflyttet til GEUS (tidligere DGU) i begyndelsen af 1991, og det fik betydning for de fælles maringeologiske aktiviteter i Østersøen. Samarbejdet skulle nu integreres i GEUS' projektstruktur, hvilket krævede årlige detaljerede beskrivelser af mål og projektaktiviteter, som efterfølgende blev evalueret.

Inden for den nye ramme blev BALKAT projektet påbegyndt med det formål at undersøge den postglaciale udvikling af forbindelsesvejene mellem den vestlige del af Østersøen (the BAltic) og den sydlige del af KATtegat.

For at løse opgaven var det nødvendigt at inddrage en række geologiske discipliner (se side 8-10) hvilket gav mulighed for at inddrage det polske "Institute of Marine Sciences" fra universitetet i Szczecin og AMS C-14 dateringslaboratoriet ved Århus Universitet som partnere i projektet. Det polske institut udførte diatoméanalyser hvor resultaterne skulle bidrage til at rekonstruere områdets miljøhistorie.

Da projektet ikke har været finansieret kommercielt, har det i høj grad bygget på velvilje fra de deltagende institutioner men ikke mindst på personligt engagement og begejstring fra deltagerne, som på utallige togter og i forbindelse med skrivning af artikler, har brugt mange timer uden for normal arbejdstid.

Til trods for den store velvilje der er udvist fra alle institutioner og at projektet er blevet udført med et lavt budget, har det dog været nødvendigt at søge ekstern støtte.

Siden 1991 har BALKAT gruppen således fået støtte til dateringer fra statens Forskningsråd og fra GEUS' AMS dateringspulje; Carlsbergfonden har finansieret et "postdoc" arbejde om makroplanterester og den tyske Humboldtfond har finansieret et 2-årigt udlandsophold for en forsker i Frankfurt hvor et PhD studie ligeledes er udført på diatoméer.

Desuden er resultaterne benyttet fra råstofkortlægningen for Skov- og Natursty-

relsen i de danske farvande og overfladeselement kortlægning i de tyske farvande for det tyske hydrografiske institut.

Den altafgørende betingelse for gennemførelsen af projektet har imidlertid været muligheden for gratis sejladser hovedsagelig med de 2 tyske forskningsskibe "A. von Humboldt" og "Professor Albrecht Penck" som alene tegner sig for 17 togter af ca. 10 dages varighed hvilket svarer til en udgift på omtrent 12 mill. kr.

Ud over data fra disse sejlads er der benyttet data indsamlet på togter med forsknings- og miljøfartøjerne "Littorina", "Mette" og "Marie Miljø", "Gunnar Seidenfaden", "Esvagt Dana" og GEUS' egen lille motorbåd "GEUS II".

Geologiske mål

BALKAT projektet undersøger den geologiske udvikling siden istiden i Østersøen og forbindelsesvejene til verdenshavet gennem de danske stræder, bl.a. ved at undersøge udviklingen af de geologiske aflejringsmiljøer, fordelingen af land og vand, hav såvel som ferskvand, samt denne udviklings mulige indflydelse på klima, miljø og kulturhistorie i Østersø-området.

For at undersøge alt dette er det nødvendigt med en række forskelligartede undersøgelser, som alle tager udgangspunkt i de seismiske data og borekerner fra havbunden, som er indsamlet til havs fx ombord på forskningsskibet "A. von Humboldt".

Seismikken tolkes og boringernes sedi-

menter beskrives og undersøges. Resultaterne danner baggrund for fortolkningen af mulige aflejringsmiljøer. På udvalgte prøver foretages der biostratigrafiske analyser hvor man bestemmer mollusker (bl.a. muslinger og snegle), plantedele, frø og pollen samt diatoméer, og i nogle tilfælde (i Kattegat) foraminiferer. Særlig velbevarede makroplantedele benyttes til AMS kulstof-14 aldersbestemmelser.

Tolkningen af de multidiciplinære data giver mulighed for detaljerede beskrivelser af kystlinieprocesser, vandstandsændringer, palæogeografi, palæoaflejringsmiljøer, fauna- og florahistorie, klimaforhold og neotektonik dvs. nutidige bevægelser i jordskorpen.

BALKAT højdepunkter

Ud over landvindinger inden for forståelsen af den geologiske udvikling i den vestlige del af Østersøen har BALKAT projektet igennem en række internationale publikationer produceret en række højdepunkter.

Grundlaget for dette har været ideen om at mange af problemerne omkring Østersøens udviklingshistorie skal løses ved undersøgelse af palæo-forbindelsesvejene i den sydvestlige del samt anvendelsen af multidiciplinære metoder.

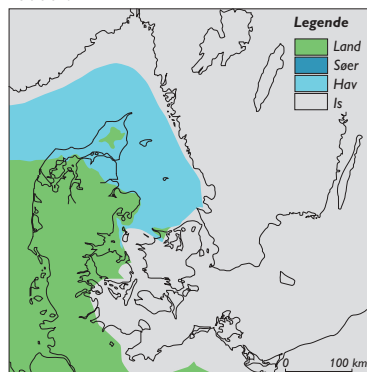
Som eksempler på højdepunkter kan nævnes:

- Beskrivelse af aflejringsforhold og vandstandsændringer i den sydvestlige del af

Østersøen i de tidlige efteristids søfaser (Baltiske Issø, Ancyclus Søen) og Littorina Transgressionen på basis af sekvensstratigrafiske principper.

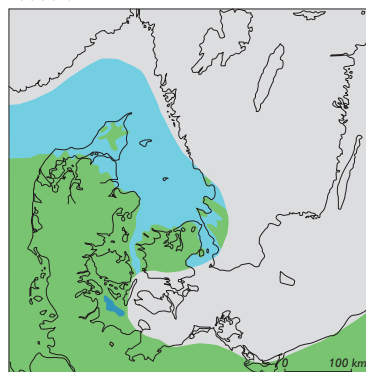
- Påvisning af tilstedeværelsen af den Baltiske Issø og Ancyclus Søen vest for Gedser Rev – Darsser Schwelle.
- Fundet af senglaciale deltaaflejringer vest for Arkona Bassinet viser at store mængder smeltevand strømmede mod øst ind i Østersøen fra Warnowflodens forgænger under istiden.
- Etablering af biostratigrafi og miljøbeskrivelse ved hjælp af mollusker, foraminiferer og diatoméer, samt fund af nye diatoméarter.
- Opdagelse og kortlægning af begravede dale ved Gedser Rev – Darsser Schwelle og i den sydlige del af Lillebælt og fastlæggelse af hydrografiske tærskelniveauer i kanalerne.
- Dementi af tidligere undersøgelses postulat om Ancyclus Søens katastrofale afvanding gennem Storebælt (Danafloeden).
- Klimatiske implikationer på baggrund af fundet af makroplanterester i Østersøen.
- Aldersbestemmelser ved hjælp af AMS kulstof-14 metoden af et stort antal nøje udvalgte makrofossiler.
- Påvisning af tilstedeværelsen af et stort estuarie i den sydlige del af Kattegat, kort tid efter at havniveauet var på sit laveste niveau efter istiden.
- Påvisning af tilstedeværelsen af et stort

18000 år



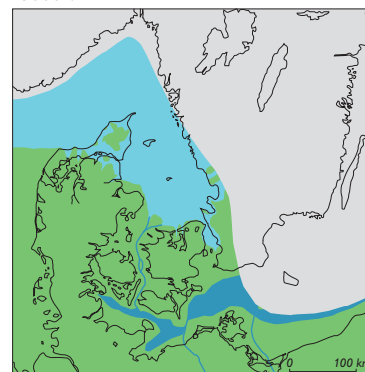
Figur 10. Palæogeografisk kort over den sydvestlige del af Østersøen der viser forholdene omkring 18000 år siden hvor Kattegat lige var blevet isfrit.

16000 år



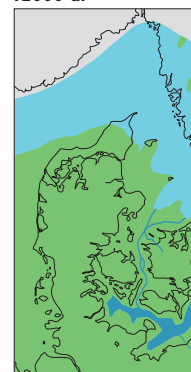
Figur 11. Palæogeografisk kort over den sydvestlige del af Østersøen der viser forholdene omkring 16000 år siden hvor der var en bred smeltvandssø i Storebælt.

15000 år



Figur 12. Palæogeografisk kort over den sydvestlige del af Østersøen der viser forholdene omkring 15000 år siden med gletscherranden vest for Bornholm.

12000 år



Figur 13. Palæogeografisk kort over den sydvestlige del af Østersøen for den hvor den Baltiske is

estuarie i den sydlige del af Kattegat, kort tid efter at havniveauet var på sit laveste niveau efter istiden.

- Opdagelse af tektoniske bevægelser i Kattegat kort efter isens bortsmeltning.
- Opdagelse af tilstedeværelsen af Mastogloia sedimenter i Mecklenburg Bugt, en betegnelse for en brakvandsfase inden den højmarine fase blev etableret.

Fremtidige muligheder

Den kontinuerte indsamling af data betyder at der hele tiden er nye publikationer undervejs og nye ideer der skal afprøves på kommende togter. En oversigt over nært forestående muligheder og publikationer er angivet efterfølgende.

- En beskrivelse af efteristidens udvikling i den sydlige del af Kattegat er sendt til et internationalt tidsskrift.
- Storebæltkanalens rolle som forbindelsesvej til Østersøen er ved at blive beskrevet.
- Forbindelsen til et større istids afsmeltningdelta i den sydøstlige del af Kattegat undersøges.
- Øresunds rolle som forbindelsesvej til Østersøen bliver og vil blive undersøgt.
- IOW har søgt tyske forskningsmidler til detaljerede undersøgelser af Littorina transgressions vej gennem bæltterne til Østersøen og de arkæologiske fund som knytter sig til dette. Hvis projektet går i gang på tysk side, vil der blive fulgt op på den danske side med en tilsvarende an-

søgning om danske forskningsmidler.

- Med afsæt i det generelle, digitale overfladesedimentkort produceret i 2001 dækkende de danske farvande og detaljerede tyske sedimentkort produceret i 2000, vil GEUS tage initiativ til en detaljeret sedimentkortlægning på den danske side, i et tæt samarbejde med IOW.

Østersøens historie efter istiden

Undersøgelser af Østersøens udvikling har en lang tradition i Sverige og Finland hvor istidens isskjold var op til 3 km tyk og den efterfølgende landhævning, som følge af afsmeltningen, langt oversteg havniveau stigningen forårsaget af det tilførte smeltvand. Det betyder at aflejringerne fra Østersøens forskellige faser i dag ligger over det nuværende havniveau og kan undersøges i kystprofiler, råstofgrave og andre blotninger.

I den sydlige del af Østersøen, hvor isen var tyndere, har havstigningen imidlertid oversteget landhævningen så de tidligere Østersøaflejringer er dækket af havet og maringeologiske metoder må tages i brug for at undersøge sedimenterne.

De første maringeologiske undersøgelser i Østersøen blev foretaget for omkring 50 år siden, men seismiske undersøgelser har kun været udført i begrænset omfang i den sydvestlige del, før BALKAT projektet blev påbegyndt.

I det følgende ses en række palæogeografiske kort der viser gletscher afsmelt-

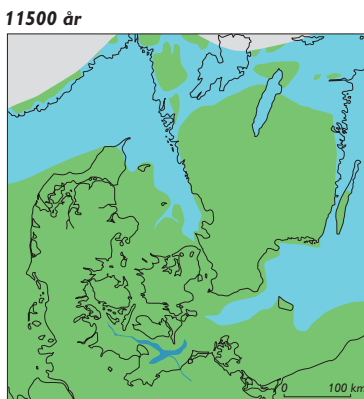
ningen og efteristidens historie i den sydvestlige del af Kattegat og den vestlige del af Østersøen.

Kortene er udarbejdet ved hjælp af eksisterende data og resultater fra BALKAT projektet.

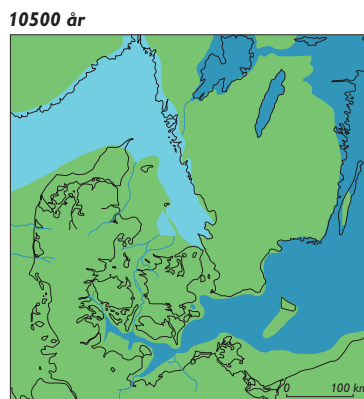
- For omkring 18000 år siden var tilbage-smeltningen fra hovedstilstandslinien (den maksimale isudbredelse i sidste istid) nået til en fase hvor den vestlige gletscher-rand groft set fulgte den nuværende svenske vestkyst, Nordsjællands kyst og fortsatte sydpå langs vestsiden af Storebælt (Figur 10). Den sydlige marginale zone var placeret i den nordlige del af Tyskland. I denne tidlige fase var den isfrie del af Kattegat stadig præget af den tidligere gletschers vægt (isostatisk nedpresset). Det relative havniveau var derfor højt og størstedelen af det nordligste Jylland (Vendsyssel) var dækket af havet.
- I næste fase for omkring 16000 år siden var gletscherranden smeltet tilbage til Øresundsregionen og den vestlige del af Skåne, som efterlod en islobe der dækkede den sydlige del af Sjælland og hvor sydranden fulgte sydkysten af den nuværende Østersø (Figur 11). Gletscherranden var direkte forbundet til Kattegat via en bred smeltevandsskud i Storebælt. Isostasien (relativ hævnin) i Kattegat medførte en indledende regression (tilbageatrækning af havet) i om-



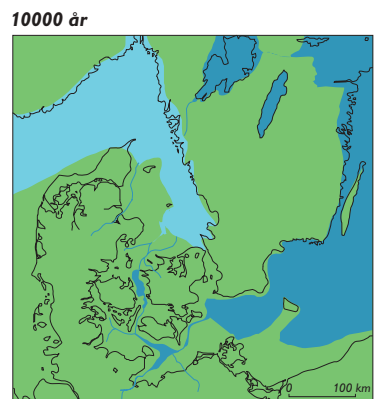
sk kort over den sydvestlige del af Østersøen omkring 12000 år siden. Isen eksisterede.



Figur 14. Palæogeografisk kort over den sydvestlige del af Østersøen der viser forholdene for omkring 11500 år siden hvor Yoldia havet var trængt ind i Østersøen.



Figur 15. Palæogeografisk kort over den sydvestlige del af Østersøen for omkring 10500 år siden hvor Ancylus Søen nåede sit maximum.



Figur 16. Palæogeografisk kort over den sydvestlige del af Østersøen for omkring 10000 år siden hvor Ancylus Søens vandstand var faldet med ca. 9 m i den centrale del af Østersøen.

rådet, medens der blev dannet lokale is-søer langs isranden i den sydvestlige del af Østersøen.

- For omkring 15000 år siden var der en meget omdiskuteret fase i afsmeltningen, idet gletscherranden stod midt i Skåne og fortsatte syd på ud i den nuværende Østersø (Figur 12). Her har der indtil videre kun været meget lidt information at hente, men undersøgelser fra polsk farvand sammenholdt med BALKAT data viser at gletscherranden må have ligget vest for Bornholm og en stor issø må have været opdæmmet foran isranden med forbindelse til Kattegat, som i øvrigt i stigende grad var præget af regression. Ud over tilførsel af smeltevand fra isranden ved Bornholm, kom der et stort bidrag fra de tyske og polske floder, hvilket er bekræftet ved tilstedeværelsen af meget store senglaciale deltaaflejringer.
- Den omtalte opdæmmede issø var den indledende fase i den meget omtalte Baltiske Issø, som er karakteriseret ved mindst to opdæmningsfaser afbrudt af store tapninger. Den sidste og mest udbredte opdæmning havde sin maksimale udbredelse for omkring 12000 år siden. Mindre floder afvandede issøen gennem Storebælt og Øresund. I den centrale del af Sverige adskilte kun en lille landtunge den Baltiske Issø fra havet (Figur 13). Yderligere tilbagesmeltning medførte en katastrofisk tapning i den centrale del af Sverige og issøens vandstand faldt på kort tid med 25 m.
- For omkring 11500 år siden blev der etableret et stræde gennem den centrale del af Sverige og Østersøbassinet blev omdannet til Yoldiahavet (Figur 14). Det navn kommer fra en arktisk musling kaldet *Portlandia arctica*, som er fundet i sedimenter aflejret omkring 11000 år før nu. I den sydlige del af Kattegat oversteg efteristidens havniveau stigningsrate (eustasi) efteristidens landhævning (isostasi) og det laveste efteristids havniveau blev nået omkring 35 m under det nuværende havniveau.
- Fortsat isostatisk hævning af den centrale del af Sverige lukkede forbindelsen til oceanet og den sidste postglaciale søfase blev etableret i Østersøen, kaldet

Ancylus Søen (Figur 15). Denne gang opkaldt efter en ferskvandssnegl, *Ancylus fluviatilis*, som lever i kystzonen af store søer. Opdæmningen af denne sø nåede sit maksimum for omkring 10200 år siden hvor kun en snæver dræneringsflod strømmede gennem Storebælt til Den sydlige del af Kattegat. Hvor dræneringsfloden strømmede ud i Kattegat havde begyndende havniveau stigning (transgression) forårsaget dannelsen af en stor lagune – estuarie, delvis afskærmet fra havet af sandede kystoddesystemer.

- For omkring 10000 år siden faldt Ancylus Søens vandstand med 9 m på få hundrede år. Det har været den almindelige opfattelse at dræneringen var gennem Storebælt, men vore undersøgelser i den sydlige del af Kattegat og Storebælt, samt tærsklerne ved Gedser Rev – Darsser Schwelle, sydøst for Langeland og i den sydvestlige del af Kattegat viser at der kun er plads til et vandstands-fald på nogle få meter langs denne dræneringsrute (Figur 16). Desuden er der observeret søsedimenter aflejret under rolige forhold i Storebælt og den sydlige del af Kattegat, på det tidspunkt hvor den påståede voldsomme Danaflod drænering skulle finde sted. De rolige søforhold blev gradvist afløst af brakke forhold for omkring 9100 år siden og fuldt marine forhold var nået for omkring 9400 år siden, hvilket markerer begyndelsen af Littorina transgressionen.

Kortlægning

Da Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU) blev oprettet i 1888, var den vigtigste opgave at kortlægge det danske land. Denne opgave er stadig en vigtig opgave for GEUS og siden maringeologerne flyttede til DGU i 1991 er kortlægningen også foregået til søs. På basis af den eksisterende viden fra maringruppens arbejde og andre indsamlede data udgav DGU og Skov- og Naturstyrelsen derfor allerede i 1992 i fællesskab et oversigtskort over bundsedymenterne i de indre danske farvande (Kuijpers et al. 1992). Databaggrunden for dette kort var af meget varieret kvalitet og tæthed, men det har vist sig at kortet har været meget efterspurgt - ikke kun på grund af sit meget specielle farvevalg, som

for øvrigt gav kortet øgenavnet "Grisekortet".

Ligeledes i 1992 fik IOW til opgave at kortlægge overfladesedimenterne i den tyske del af Østersøen via en kontrakt med den Tyske Hydrografiske Undersøgelse i Hamburg (BSH). Efterfølgende har IOW systematisk foretaget denne detaljerede kortlægning og flere kortblade er udgivet.

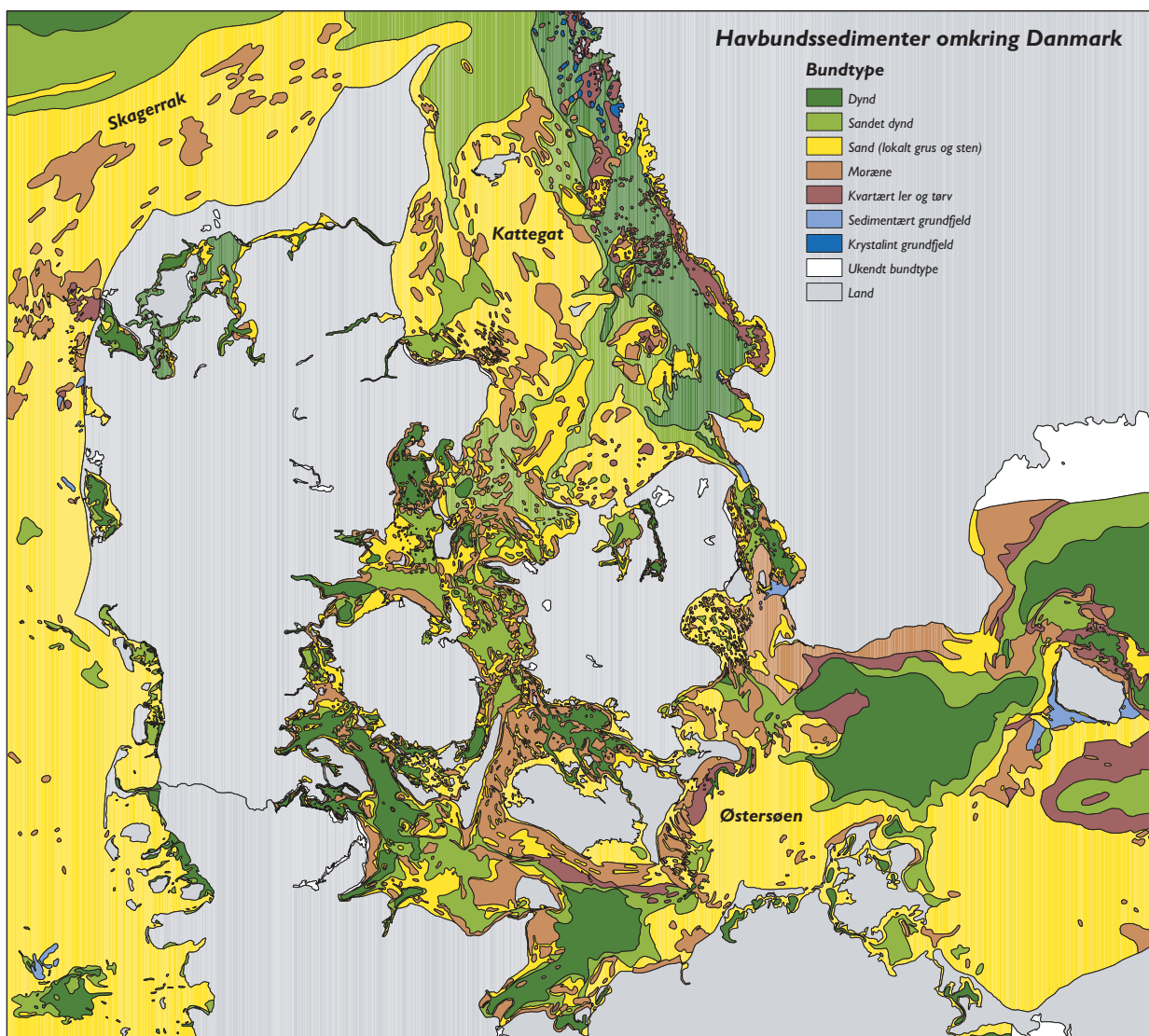
Interessen for "Grisekortet" bevirkede at GEUS i 2000 besluttede at udgive kortet digitalt, men først efter at det havde været igennem en omfattende revidering, i de områder hvor der var kommet nye data til. Her kommer BALKAT projektet ind i billedet, da hele Østersøregionen og dele af Kattegat blev ændret på basis af BALKAT data og IOW's sedimentkortlægning. Det nye digitale kort blev udgivet i slutningen af 2000, denne gang i et mere moderat farvevalg (Figur 17; Hermansen & Jensen 2000).

Inspireret af den store interesse for det digitale sedimentkort og resultaterne fra IOW's detaljerede sedimentkortlægning, vil GEUS tage initiativ til at en lignende detaljeret kortlægning bliver påbegyndt i Danmark fortsat i et tæt samarbejde med IOW.

Via BALKAT projektet er der i Femer Bælt – Arkona Basin området indsamlet så mange data at det i GEUS blev besluttet at udgive et kortblad svarende til jordartskortene på land. Kortet blev udgivet i 1996 (Jensen et al. 1996) og det viser de kvarterære sedimenter i ca. 1 m's dybde. Heraf fremgår det at Østersøens udvikling har sat sit præg på havbunden da istidens moræner er overlejret af issøer, gytjeholdige søaflejringer, tørvclag og marine sand- eller dyndaflejringer. Alle disse aflejringer er under konstant påvirkning af de nuværende strømningsforhold, som fjerner, fremeroder eller begraver de tidligere tiders aflejringer. Som noget specielt for det marine jordartskort er de nuværende strømningsbetingede bundformer angivet som felter med sandribber i cm størrelsen, sandbølger i m størrelsen og kometmærker der kan forklares som sandfaner i læ af større sten.

Disse strukturer giver oplysninger om strømningsmønster og intensitet for indgående saltvand til den centrale del af Østersøen og den kompenserende udstrømning af mindre saltholdigt vand.

I dette tilfælde har BALKAT data dannet



Figur 17. Det digitale havbundssediment kort som i nogen grad er lavet på basis af data fra BALKAT projektet.

basis for et pilotprojekt, som sandsynligvis bliver forløberen for en samlet kortlægning af de kvartære sedimenter på land og hav.

Analysen af makrofossiler

I forbindelse med BALKAT projektet er adskillige tusinder prøver blevet analyseret for deres indhold af større (makroskopiske) plante- og dyrerester. Hovedformålet med dette arbejde har været at finde materiale til kulstof-14 dateringsmetoden ved hjælp af "Accelerator Masse Spektrometri"

(AMS). Men herudover har data omkring makrofossiler givet et væld af oplysninger om lokale palæomiljøer og om udviklingen af regionens plante- og dyreliv. Makrofossiler har både fordele og ulemper sammenlignet med mikrofossiler. Således er omlejring et mindre problem med makrofossiler, og som regel kan man se, hvis et makrofossil er blevet omlejret. Plante-makrofossiler giver generelt et mere lokalt billede end pollen, der især er egnede til at fortælle om den terrestriske vegetation. I senglaciale

miljøer kan fjerntransporterede pollen udgøre et stort problem, hvorimod makrofossiler ikke transporteres over lange afstande. En anden fordel med makrofossiler af frøplanter, sammenlignet med pollen, er at makrofossiler ofte kan identificeres til art, mens pollen ofte kun kan identificeres til slægt eller familie. På den anden side er makrofossiler normalt til stede i ringe antal, og på grund af deres lokale oprindelse og aflejring, er makrofossil data ikke så velegnede til numeriske analyser som mikro-

fossildata baseret på pollen eller diatoméer.

Makrofossiler omfatter en lang række forskellige rester af planter og dyr. Blandt de første kan nævnes blade, frø, frugter, kogler, ved- og barkfragmenter. Dyrerester kan omfatte kalkskaller, kitinskaller, insekter, ægkapsler, knogler, tænder og fiske-skæl. Såvel organismer der lever i søer, floder, i havet eller på land kan efterlade makroskopiske rester der kan blive begravet i sedimenter (Figur 18). Normalt kan man let skelne mellem aflejringer der er afsat i ferskvand, brakvand eller saltvand. På grund af den store forskel mellem plante- og dyrelivet under sen- og postglacial tid, er det normalt let at skelne mellem aflejringer fra disse tidsperioder, forudsat at makrofossiler er tilstede.

For at analysere makrofossiler, vadsigtes den friske sedimentprøve på en serie sigter med forskellige maskevidder. Hvis sedimentet indeholder sand eller grus kan dette fjernes ved dekantering. Derefter følger identifikation og optælling af de forskellige typer, ved hjælp af et dissektionsmikroskop. Hvis blade eller andre rester af landplanter er til stede, bliver disse sorteret fra og tørret med henblik på aldersbestemmelse med AMS kulstof-14 metoden. Landplanter foretrakkes fordi de er fri for reservoir-effekter. Men rester af landplanter mangler ofte i marine aflejringer, og i så fald anvendes skaller af muslinger eller snegle. Mange senglaciale aflejringer indeholder fragmenter af kul og prækvartært ved, såvel som hyppige, små stumper rav. Det er vigtigt at undgå den slags materiale ved datering, fordi det resulterer i for gamle aldre.

Diatoméanalyser

Diatoméer er mikroskopiske, encellede alger (kiselalger) med en skal opbygget af silicium-oxid (Figur 18D). Diatoméer er afhængige af lys til deres fotosyntese, og de fleste arter lever i den del af vandmasserne hvor der findes lys.

Nogle arter er planktoniske (svæver i vandmasserne), nogle vokser på store vandplanter (epifytiske) eller på dyr (epizoiske), mens andre vokser på sedimentoverfladen. Tusinder af forskellige diatoméarter er blevet beskrevet, og hver art har sin optimale biotop. Normalt bevares skallerne godt i sedimenter, og de kan være tilstede i

enorme mængder. Kun ganske små mængder sediment kræves til en diatoméanalyse, hvilket er en stor fordel når man arbejder med sedimentkerner, hvor mængden af sediment er begrænset.

Skallerne identificeres og tælles ved hjælp af et mikroskop, men inden analysen er det nødvendigt at opkoncentrere skallerne. Organisk materiale fjernes ved oxidation, kalk fjernes med syre, og sand, silt og ler kan fjernes ved fysiske metoder eller ved flotation idet der anvendes tunge væsker.

(I forbindelse med BALKAT projektet er resultaterne angivet som procentdiagrammer.)

Diatoméanalyse er et stærkt redskab når det gælder rekonstruktionen af tidligere miljøvariable, så som pH, næringsstatus, alkalinitet, vanddybde og ikke mindst salinitet, idet visse arter lever i ferskvand, andre i brakvand og atter andre i saltvand. Arterne koloniserer hurtigt nyligt dannede miljøer, idet de spredes med strømme og vind. Dog sker det ikke sjældent, at skallerne er blevet opløst, og omlejring kan også være et problem, fordi skallerne kan omlejres uden at blive slidte eller fragmenterede. Derfor er det vigtigt at kombinere diatoméanalyser med andre metoder.

Foraminifér faunaer

Foraminiferer er encellede små dyr med en gennemsnitsstørrelse på 0,1 til 0,8 mm, hvilket betyder at det er nødvendigt at benytte et mikroskop, for at undersøge disse mikrofossiler (Figur 18A og 18B).

Foraminifererne lever både i marine og brakke vandmasser med hver deres karakteristiske artsfordeling. Der findes to hovedgrupper: en planktonisk gruppe som lever i de øverste få meter af vandsøjlen og kræver fuldt marine forhold med en salinitet på omkring 35 promille. Disse arter trives ikke i de indre danske farvande, men strejfer kan findes i vandet og i sedimenterne i Kattegat, sandsynligvis transporteret med overfladevandet fra Nordsøen og Skagerrak. Den anden gruppe er benthiske arter, dvs. at de lever på havbunden, enten i de øverste få cm af havbunden eller på tang. De fleste arter har en hård skal lavet af kalk (Figur 18A), men et mindretal har skaller lavet af mineralkorn sammenkittet af organisk

materiale (Figur 18B). Foraminifererne er ofte tilstede i stort antal og deres skaller er bevaret i sedimentet. På den måde afspejler de det miljø de har levet i. Foraminifér sammensætningen i en sedimentprøve, kan således benyttes til at undersøge hvordan miljøet har været i havet på aflejringsstidspunktet. Foraminifér artsrigdommen (diversiteten) er størst under fuldt marine forhold med aftagende artsantal ved faldende saltholdighed. Dette fænomen kan iagttages i et transekt gennem de danske stræder ind i Østersøen, hvor foraminifér diversiteten er temmelig begrænset. Desuden betyder det høje organiske indhold i Østersøens sedimenter, at der sker en opløsning af kalkskallerne i sediment og der efterlades kun skrøbelige indre skalbeklædninger, som for det meste går tabt ved præparationen af sedimentprøverne. Foraminifererne transporteres som var det grove siltkorn og er meget modstandsdygtige mod erosion. Det betyder, at man skal være meget opmærksom, når man tolker de meget udbredte sen- og postglaciale siltede sedimenter, som indeholder oparbejdede foraminiferer fra ældre marine aflejringer. Denne forurening har utvivlsomt tidligere været årsag til fejlagtige tolkninger.

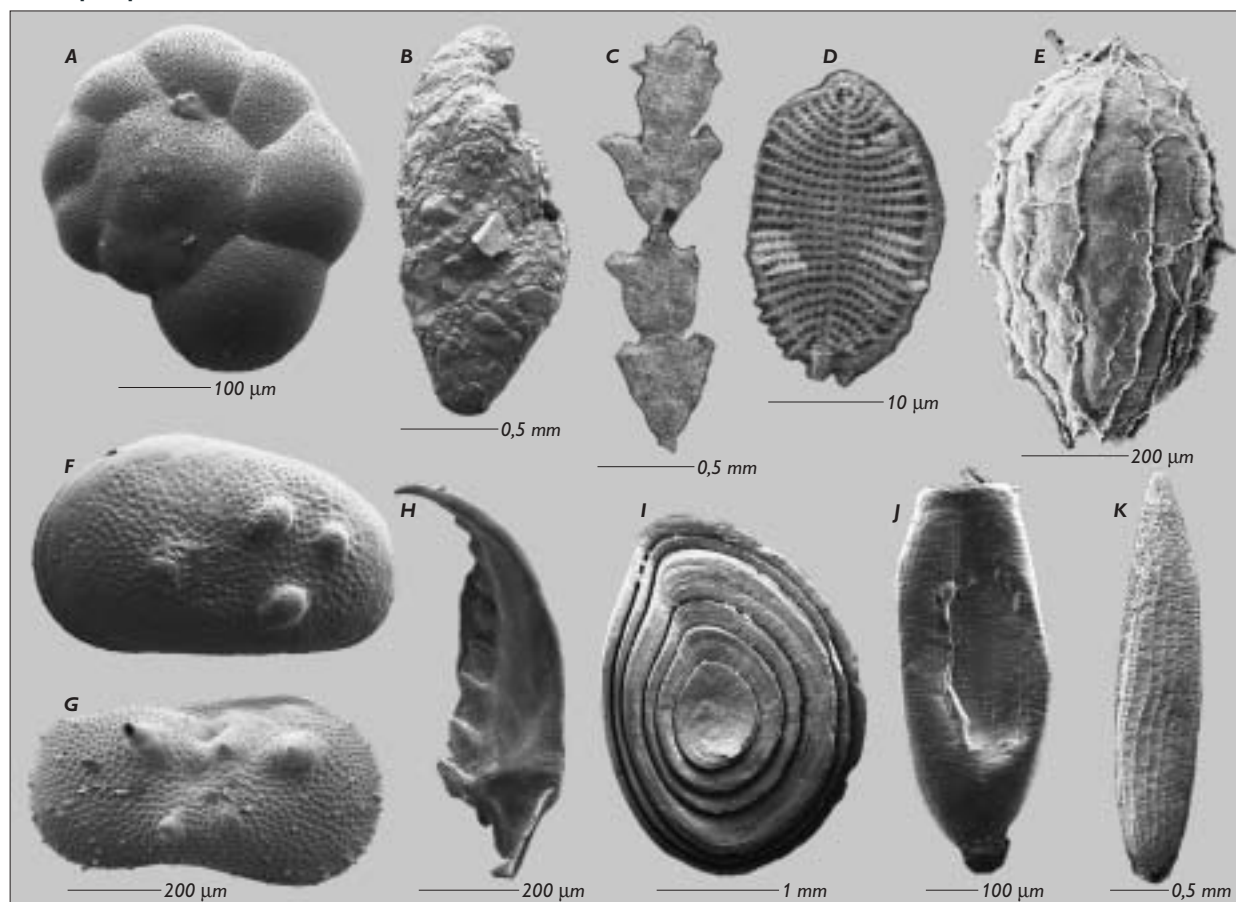
I BALKAT projektet er der primært lavet foraminifer analyser på et antal boringer fra Kattegat, for at vise miljøforandringerne under den tidlige Holocæne marine transgression.

Eksempler på BALKAT resultater

Sen-glaciale plante- og dyresamfund

BALKAT projektet har bidraget markant til vores kendskab til det plante- og dyreliv, der fandtes i tiden efter isen fra den sidste istid smeltede bort fra den sydvestlige del af Østersøregionen. Finkornede aflejringer af ler og silt der er afsat langt fra kysten mangler ofte makroskopiske plante- og dyrerester, mens mere grovkornede aflejringer, der blev afsat nærmere kysten, kan indeholde store mængder makrofossiler. Det har vist sig, at den ganske lille polarpil (*Salix polaris*) var en af de første planter der indvandrede efter afsmeltningen, og den dominerede den tidlige vegetation. Denne fase er dateret til omkring 14500 kalenderår før nu. Polarpil kan vokse på ustabil

Eksempler på mikrofossiler fra havbunden



Figur 18A-K. **A:** Kalkskal af foraminiferen *Ammonia beccarii*. Arten kan tolerere lave saltholdigheder, og er en af de arter, der går længst ind i Østersøen. **B:** Skal af en anden foraminiferart (*Ammonium cassis*). Skallen består af sammenkittede sandkorn. **C:** Hornskelet af en smågøple (*Dynemena pumila*). Der er tale om et koloni-levende dyr, der danner grenede skeletter. **D:** Skal af kiselalgen (diatomé) *Cocconeis*. Skallen sad på C, så man kan tale om en epizooisk ("på dyr") art. **E:** Ægkokkon af fiskeigle (*Piscicola geometra*), en art der lever i ferske vand. Kokonerne anbringes på planter eller sten. **F:** Skal af ostrakoden *Cypedeis torosa*, en art der findes i brakvand. **G:** Skal af en anden ostrakodart (*Ilyocypris gibba*), en art der lever i ferskvand. **H:** Kæbe af *Nereis diversicolor*, en børsteorm der lever i salt- og brakvand. Kun de kraftige kæber der består af kitin bevares i sedimentet. **I:** Låg af *Bithynia tentaculata*, en ferskvandssnegl der lever på bunden af større søer, ofte uden for plantebæltet. Arten findes i Danmark kun i Postglaciale aflejringer. **J:** Frugt af dunhammer (*Typha* sp.). Frugterne er små og forsynet med hår, idet de er bygget til spredning med vinden. Arten vokser langs bredden af søer. **K:** Frø af najade (*Najas minor*), en lille plante der vokser på bunden af søer. Arten er i dag uddød i Danmark, men den var almindelig for blot 9000 år siden, hvor sommere var varmere end nu.

jordbund; har lette frø der er velegnede til vindspredning, og desuden kan den tolerere lavere sommertemperaturer end nogen anden vedplante i Europa. Andre tidlige indvandrere blandt vedplanterne var dværgbirk (*Betula nana*), rypelyng (*Dryas octopetala*) og revling (*Empetrum nigrum*). Desuden bestod vegetationen af en række urter og mosser. Manglen på træer betød, at der var gode muligheder for lyskræven-planter.

Et særdeles overraskende fund fra denne periode er et fragment af en lille rovbille (*Tachinus jacuticus*) i aflejringer fra Fakse

Bugt. På grund af karakteren af dette fund blev det sendt til en engelsk ekspert som kunne bekræfte bestemmelsen. I dag findes artens nærmeste levesteder i det østlige Sibirien, men arten er også udbredt over store dele af det nordlige Nordamerika. Arten er ikke tidligere fundet i Danmark.

Under Allerød perioden, der er en varm fase fra ca. 13900 til 12650 år før nu, ser det ud til, at træbirk (*Betula pubescens*) var det eneste træ der med sikkerhed fandtes i regionen. Pollen af skovfyr (*Pinus sylvestris*) er tilstede i stor mængde i sedimenter fra Allerød perioden i regionen, men de synes at

repræsentere fjerntransport. Et andet træ der måske var tilstede er bævreasp (*Populus tremula*), hvis pollen er fundet meget sparsomt. Indtil videre er makrofossiler af denne art ikke fundet, og hvis den voksede her må den have været sjælden. En lyskrævende dværgbusk der øjensynlig var ganske almindelig er hede-melbærris (*Arcto-staphylos uva-ursi*).

Yngre Dryas perioden er et kuldeinterval der udgør den sidste del af senglacietiden. Træer forsvandt eller blev meget sjældne, mens dværgbirk og rypelyng vandt frem. I aflejringer fra Yngre Dryas er der fundet

skaller af flere arter landsnegle; arter som i dag lever i bjergegne i de centrale eller nordlige dele af Europa.

Rester af vandplanter og dyr kan være temmelig almindelige i kystnære aflejringer fra den Baltiske Issø. Selvom nogle af disse kan være skyllet ud i søen fra små bassiner i dræningsområdet, ser det ud til, at den Baltiske Issø, i den sydvestlige del, der lå langt borte fra randen af det skandinaviske Isskjold, rummede en temmelig rig flora og fauna. Faunaen rummer sjældne eksemplarer af ferskvandssneglen *Ancylus fluviatilis*, der ellers har givet navn til et yngre stadium af Østersøen. Floraen tyder på ion-rigt vand, og et højt kalkindhold karakteriserede uden tvivl vandet.

I det sydlige Kattégat har BALKAT projektet givet et vis indblik i den marine fauna i senglacial tiden. Den ældste marine fauna der er fundet, er dateret til 16000 år før nu; faunaen herfra omfatter kun en enkelt muslingeart, *Hiatella arctica*. Denne musling er almindelig i arktiske egne, og den lever i mange forskellige miljøer, herunder områder nær kælvende gletschere og områder der indflueres af smeltevand fra gletschere. En anden musling der forekommer i de

senglaciale lag er *Portlandia arctica*, der karakteriserer "glaciomarine" miljøer.

Sjældne vandplanter

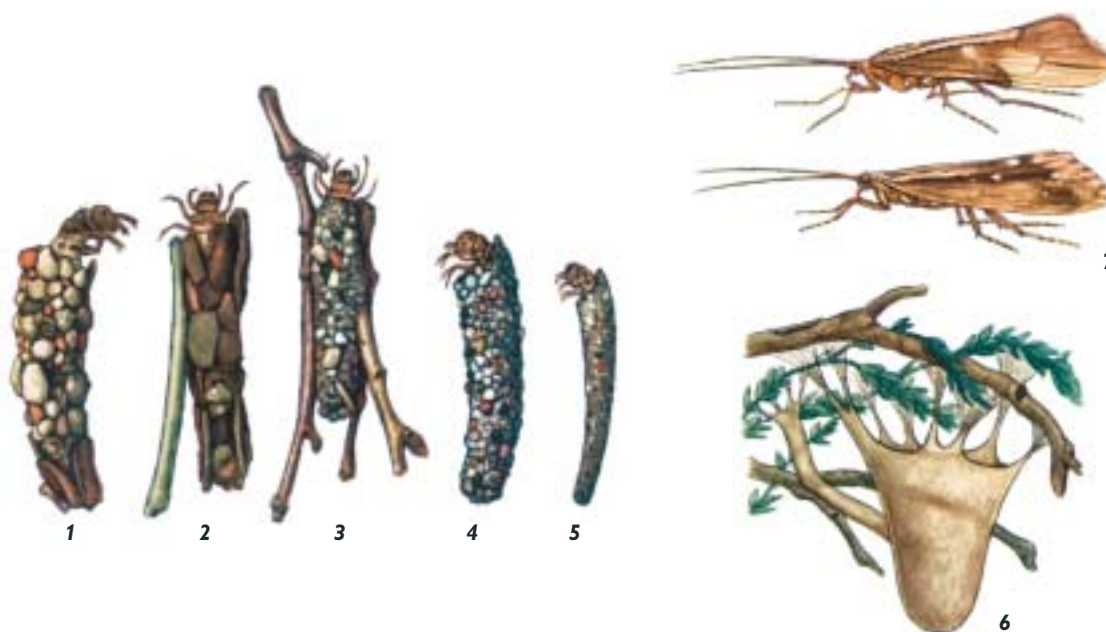
Til dels som et resultat af det store antal prøver der er blevet analyseret, er der gjort en række opsigtsvækkende fund. Til denne kategori hører talrige fund af frø af najader, som er små neddykkede ferskvandsplanter. To arter vokser i Danmark i dag, men begge er ekstremt sjældne. Under BALKAT projektet er der fundet frø af tre arter. Frøene er vældig diagnostiske og nemme at bestemme, hvorimod pollen af disse planter ikke bevares i sediment. Arterne er stærkt afhængige af høje sommertemperaturer for at kunne danne frø, og de synes også at stille specielle krav til vandets kemiske sammensætning - måske i form af en kombination af kalkholdigt og næringsrigt vand. På den anden side ser det dog ud til, at najader ikke kan tåle den ekstreme næringsbelastning der kendetegner mange søer i dag.

Frø af *Najas minor* er ikke tidligere fundet i Danmark, og arten vokser her ikke længere. Men denne ferskvandsplante findes i dag syd for Danmark, og fund af frø fra

Finland viser at arten tidligere voksede meget længere nordpå end i dag. Frø fra planten er temmelig sjældne i de submarine aflejringer der er blevet analyseret under BALKAT projektet, men fundene dækker et stort geografisk område (Figur 18k).

De to andre arter hvoraf frø er fundet er stor najade (*Najas major*) og liden najade (*Najas flexilis*). Før BALKAT projektet var der kun enkelte fund af disse arter fra Danmark, men nu kan det fastslås, at de var vidt udbredte i tidlig Postglacial tid.

Et andet eksempel på en sjælden vandplante, som der er fundet rester af under BALKAT projektet er krebsklo *Stratiotes aloides*. Før BALKAT projektet kendte vi intet til denne arts historie i Danmark efter istiden, men nu kan det fastslås, at arten indvandrede allerede tidligt i Postglacial tid. Langs bredderne af søerne udgjorde hvas avneknippe *Cladium mariscus* en vigtig del af rørskovsbæltet i tidlig Postglacial tid. Denne kalkkrævende plante er blevet langt sjældnere i regionen end tidligere. Dette afspejler at jordbunden er blevet mere og mere sur som et resultat af udvaskning af kalk.



Figur 19. 1-5: Eksempler på vårfluelarver der bygger rør som de bærer rundt på. Disse arter lever i søer og damme. Rørene er normalt 10-20 mm lange, og de består af et fint spind, der er beklædt med sandkorn, pinde eller andet materiale. 6: Eksempel på en vårfluelarve der spinder et fangstnet af silketråde. Disse arter lever i åer og floder. Larven der lever i bunden af nettet er 20 mm lang. 7: Eksempler på voksne vårfluer. Længde 20-30 mm.

Kilde: "Hvad finder jeg i søer og åer", Politikens Forlag.



Figur 20. Lokalisering af tærskelområdet i Langelandsbælt ved den sydlige munding af Storebælt.

Flodaflejringer i Storebælt

Vårfluelarver (Figur 19) lever i ferskvand, enten i damme, søer eller strømmende vand. Nogle arter bygger et rør som de bærer rundt på, mens mange af de arter der lever i strømmende vand spinder et net, og venter på, at byttedyr skal blive fanget. Under analyser af ferskvandsaflejringer er det almindeligt at finde spredte rester af vårfluelarver, enten i form af rør, eller i form af skeletdele, idet den forreste del af vårfluelarverne har et kraftigt skelet, der bevares godt.

Under analyser af sedimenter fra en borekerne fra Storebælt fandt vi imidlertid re-

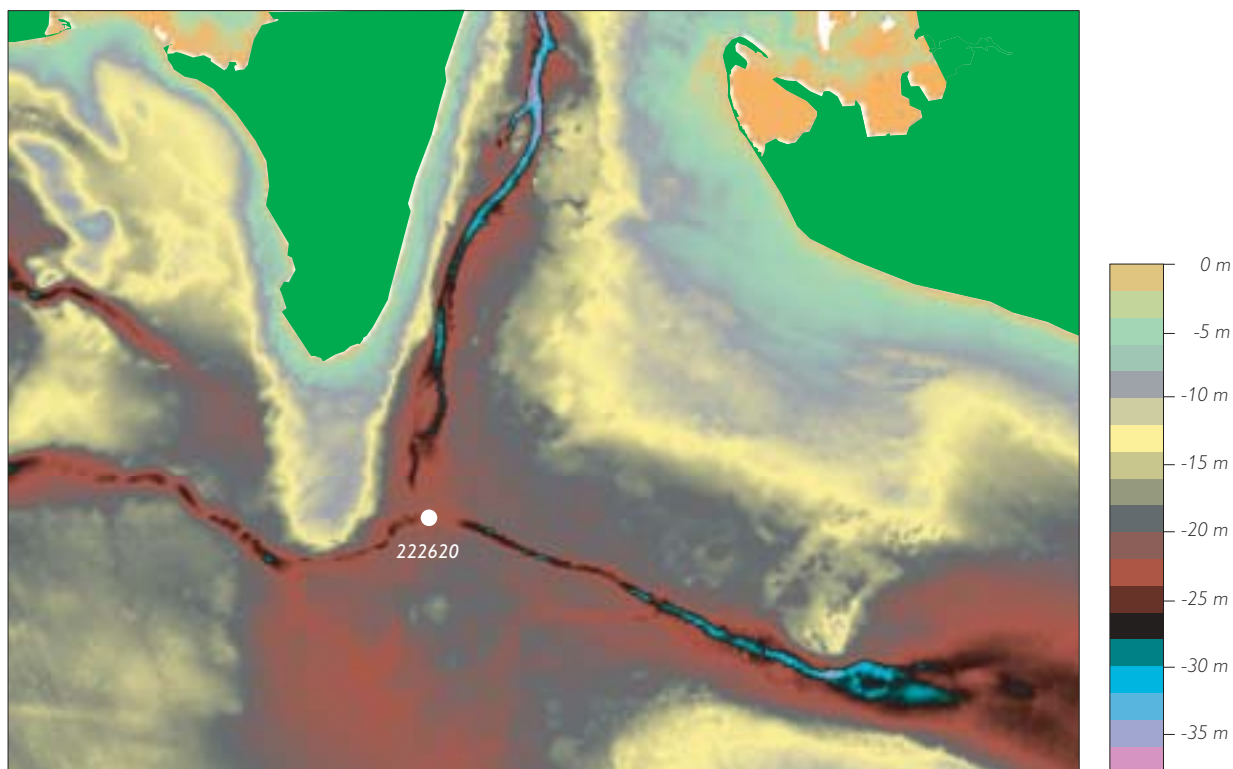
ster af vårfluelarver i usædvanlig store mængder, og der var tale om arter som ikke optræder i søaflejringer. Heldigvis lykkedes det at få en vårflue ekspert, Peter Wiberg-Larsen, til at analysere fire prøver fra borekeren. Wiberg-Larsen var i stand til at identificere ikke mindre end 24 forskellige arter, hvoraf langt hovedparten lever i strømmende vand. I hver prøve var der flere hundrede rester. En masseforekomst som der her er tale om findes især hvor åer eller floder strømmer ud af søer. Ud fra arts-sammensætningen kan det fastslås, at vandet strømmede med en hastighed på højst 2 m/sek, og at larverne levede i en flod med

sten og grus på bunden.

Langelandsbælt tærsklen

I afsnittet om Østersøens eftertids historie er Ancyclus Sø fasen beskrevet. Det er en meget diskuteret fase med hensyn til om søen var opdæmmet eller ej, hvor dræningsfloderne har været og hvor højt vandstanden maksimalt har været.

Inden BALKAT projektet begyndte at producere data, var det hovedsagelig data fra undersøgelser i den sydlige del af Sverige og i den centrale del af Østersøen der dannede basis for tolkningen af Ancyclus Søens udvikling. Den generelle holdning var



Figur 21. Dybdekort som viser Langelandsbælt tærsklen med nedskårrede smalle kanaler, nord og syd for tærsklen. Placeringen af boring 222620 er ligeledes angivet.

dengang at Ancylus Søen var en opdammet sø, som i den sydvestlige del af Østersøen nåede et maksimalt transgressionsniveau på mellem 20 og 12 m under nuværende havniveau, for omkring 10500 år siden. Den maksimale transgression blev efterfulgt af en katastrofisk oversvømmelse af tærsklen mellem den tyske Darss halvø og Gedser Rev. Resultatet af denne oversvømmelse var en gradvis nedrodering af tærsklen og dannelsen af en dræneringsflod (Danafloden) som gennem Femer Bælt og Storebælt drænerede Ancylus Søen ud i Kattegat, i løbet af omtrent 1000 år. Dræneringen medførte en sænkning af Ancylus Søens vandniveau på ca. 9 m, hvilket i den sydvestlige del af Østersøen betød at niveauet faldt til omkring 32 meter under nuværende havniveau. Derved nåede Ancylus Søen ned i niveau med verdenshavet.

Hvad der skete i tærskelområderne vest og nord for Darss var uklart.

BALKAT undersøgelserne i Arkona Basinet og Mecklenburg Bugt (Jensen et al.

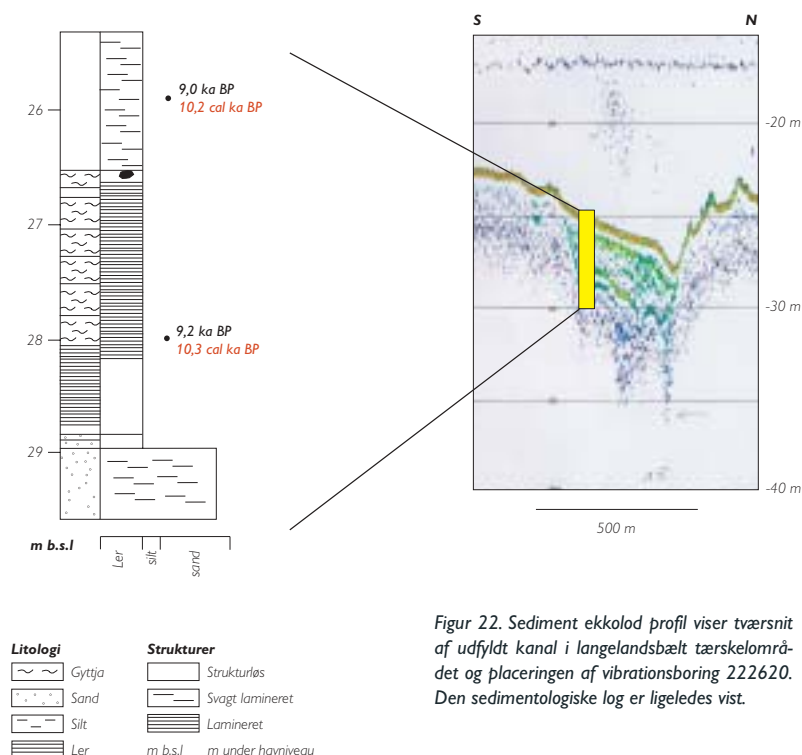
1999) viser at Ancylus Søens maksimale niveau var 19 m under nuværende havniveau, som blev nået for omkring 10200 år siden. Undersøgelser i 3 af Danaflodens kritiske tærskelområder har vist sig at få betydning ikke blot for forståelsen af Ancylus Søens historie, men også for den indledende fase af Littorina transgressionen.

En af tærsklerne findes i Langelandsbælt ved den sydlige ende af Storebælt (Figur 20). Her blev der i juni 1999 gennemført et togt med et højopløseligt sediment ekkolod ombord på R/V "A. von Humboldt". Tærsklen består hovedsagelig af blottede morænesedimenter i hvilken der er nedskåret en smal kanal (Figur 21). Kanalen er delvist udfyldt med sen- og postglaciale finkornet sediment med et højt organisk indhold, hvilket betyder at den nuværende tærskel ligger ca. 25 m under havniveau. En vibrationsboring som er udført i kanalsystemet tæt på tærsklen (Figur 21 og 22), indeholder plantede dele som er dateret til for 10200 år siden ca. 26 m under nuværende havni-

væu. Hvis man fjerner kanalfyldet vil tærskelniveauet være omkring 30 m under nuværende havniveau og ved 25 m er gennemsnitsbredden af kanalen omkring 280 m. Da Storebæltområdet er temmelig stabilt isostatisk set (Winn, 1974) kan det antages at bunden ikke har ændret sig mærkbart siden afsmeltningstiden. Derfor har det effektive tærskelniveau ligget nogenlunde konstant omkring 25 m og Ancylus Søens vandspejl har kun kunnet falde omkring 5 m. Desuden har der, kun få hundrede år efter Ancylus Søens maksimale transgression hersket rolige dræneringsforhold ved tærsklen. Dette betyder at der ikke er fundet bevis for en katastrofisk drænering gennem Danafloden og at en anden dræneringsvej må have eksisteret.

Et druknet estuarie – barriere lagune system i den sydvestlige del af Kattegat

Den sydlige del af Kattegat er et lavvandet overgangsområde ved indgangen til Østersøen (Figur 23). Som nævnt i afsnittet om



Figur 22. Sediment ekkolod profil viser tværsnit af udfyldt kanal i langelandsbælt tærskelområdet og placeringen af vibrationsboring 222620. Den sedimentologiske log er ligeledes vist.

Østersøens historie efter istiden begynde afsmeltningen af isen fra dette område for omkring 18000 år siden og i den indledende fase efter afsmeltningen var havniveauet højere end det nuværende, fordi landet stadig var nedpresset efter Indlandsisen. Kort tid efter tog landhævningsen fart og det relative havniveau faldt, indtil for omkring 11500 år siden, på grænsen mellem Yngre Dryas tid og Præboreal tid. Så begynde havniveauet at stige fordi havstigningen "overhalede" landhævningsen.

I BALKAT projektet har vi undersøgt den sydlige del af Kattegat for at fastlægge det laveste havniveau og for at kunne beskrive den efterfølgende transgression af regionen og den marine transgression af Østersø bassinet. Der blev foretaget togter med R/V "A. von Humboldt" i perioden 1997-1999 og undersøgelsesprogrammet indeholdt det fulde program, som er beskrevet tidligere i afsnittet om geologiske mål.

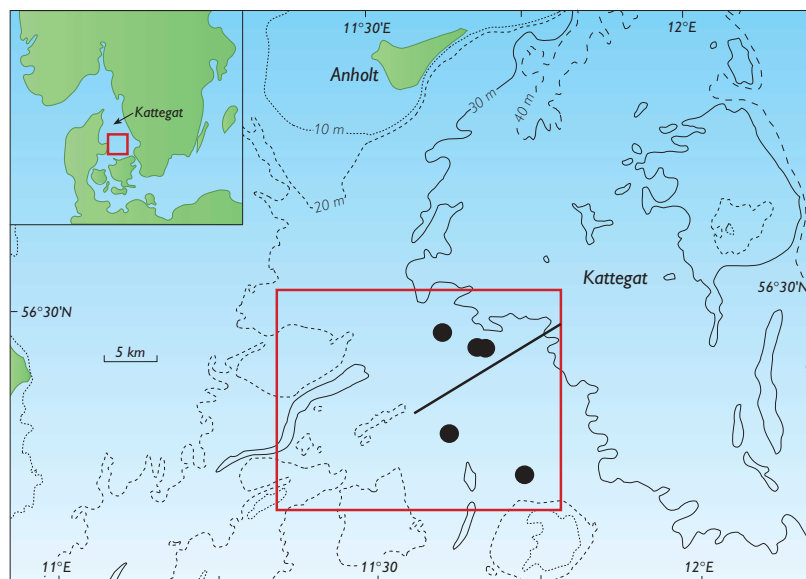
En af de mest interessante opdagelser var fundet af et druknet estuarie-lagune system, som blev dannet i den indledende fase af oversvømmelse (transgression) i tiden efter sidste istid.

De første seismiske data og boreriger, der blev indsamlet, pegede på eksistensen af en temmelig simpel barrierekystr med et lagunesystem bag ved. Dette er beskrevet i Ben-

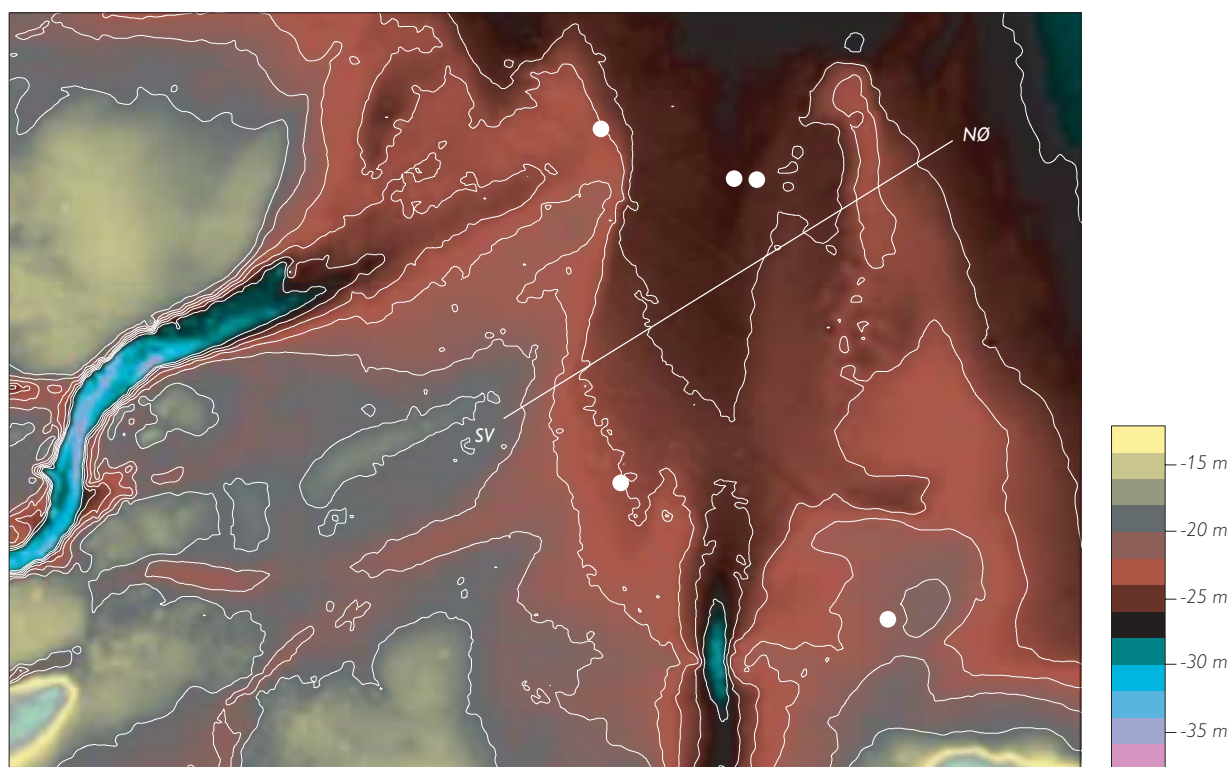
nike et al. (2000b), men supplerende detaljerede dybde data, som blev stillet til rådighed af Farvandsvæsenet viser, at der er bevaret et druknet oddesystem ved munden af to gamle nedskårne Storebæltets kanaler. Disse kanaler udmundede i det daværende Kattegat (Figur 24).

På basis af de indsamlede data er det muligt at rekonstruere den geologiske udvikling af kystsystemet. I begyndelsen dominerede sandede og grusede sedimenter det transgressive kystsystem på nuværende vanddybder af 30 til 35 m (Figur 25, profil A). Som tiden gik udvikledes der gradvist beskyttende sandodder foran flodmundingerne og på læsiden af odderne aflejredes lagdelt silt og ler (Figur 25, profil B).

Systemet var fuldt udbygget da transgressionen havde nået et niveau på omkring 28 m under nuværende havniveau for ca. 10500 år siden. På det tidspunkt var den nordligste odden omkring 10 km lang barriere, som beskyttede et stort ler-silt sedimentations bassin (Figur 25 profil B og Figur 26). Den fortsatte transgression betød at barrieren gradvis stegede baglæns og da transgressionsniveauet havde nået 24 m under nuværende havniveau druknede hele systemet. Efter denne hændelse udvikledes der nye oddesystemer i kystzonen længere mod syd (Figur 25, Profil C og Figur 27).



Figur 23. Oversigtskort over sydvestlige del af Kattegat med angivelse af undersøgelsesområde og lokalisering af boreriger samt tværsnitprofil.



Figur 24. Detaljeret vanddybdekort, hvor et gammelt druknet system kan iagttages (palæosystem). Det består af et oddesystem ved munden af to gamle nedskårne Storebælts kanaler, som udmundede i det daværende Kattegat. Borer og tværprofil er angivet.

Systemet beskrevet ovenfor udviklede sig fra en indledende estuarie fase med udstrømning direkte i Kattegat fra de 2 palæo Storebæltsfloder. Gradvist blev flodmundingerne mere beskyttede af det voksende oddesystem, der efterhånden udviklede sig til et barriere-lagune system. Vibrationsboringerne fra det beskyttede område bag barrieren indeholder finlamineret ler og silt som peger på lavenergiforhold med kun en begrænset indflydelse fra floderne og uden antydninger af tidevandsbevægelser.

Studier af plante- og dyre- makrofossiler viser at lagunens sediment indeholder en blanding af arter der levede i forskellige miljøer: i havet, i brakvand, i søer, moser og på land. Analyser af foraminiferer antyder et lavvandsmarint miljø med stor variation i temperatur og saltholdighed forårsaget af ferskvand.

Sammenblandingen af de forskellige biotoper som fossilresterne repræsenterer, kan forklares på forskellige måder. Hvad landarterne angår kan de selvfølgelig ikke for-

ventes at have levet i lagunen, disse rester må være blæst ud eller drevet med strømmen. Sumplanterne kan have groet langs med lagunens kyster, langs med flodbredderne eller langs søbredder i afvandsområdet. Søarterne kan have levet i lagunen i perioder hvor vandet var domineret af flodernes afstrømning eller de kan være bragt ud i lagunen fra afvandsområdet. Det er i øvrigt karakteristisk for mange af ferskvandsarterne, at de kan tåle at leve i svagt brakvand.

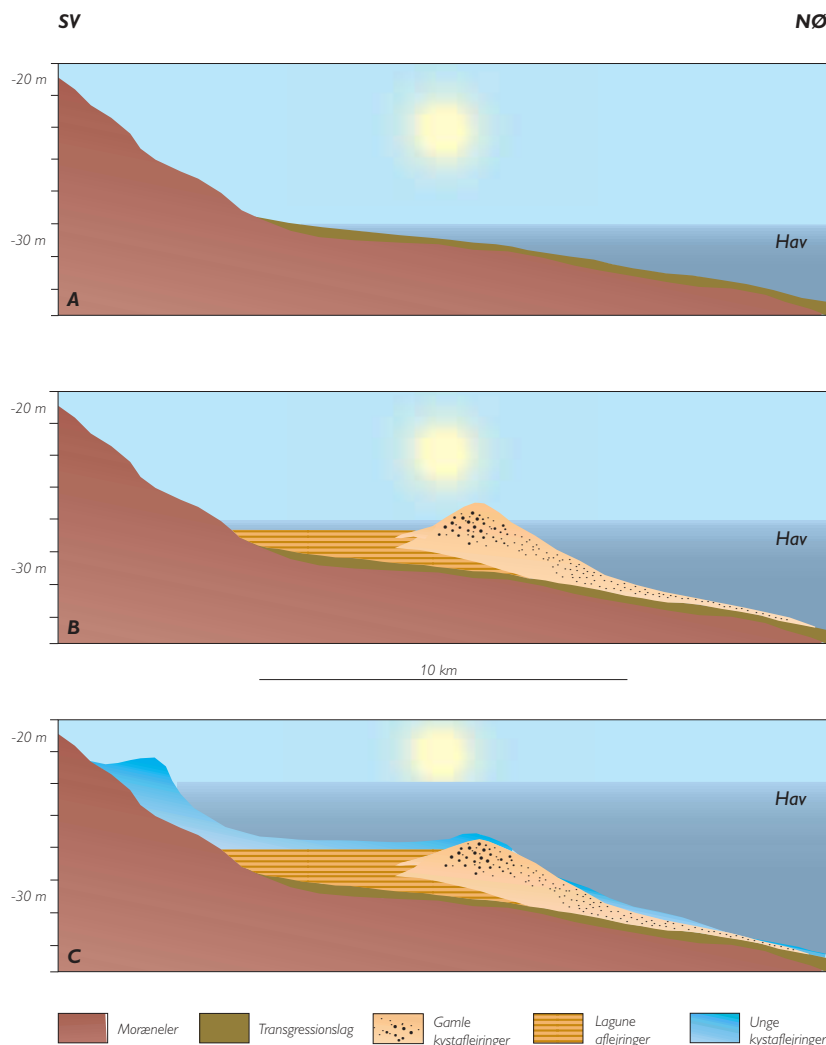
De marine arter kan derimod have levet i lagunen i perioder hvor vandet var brakt til marint eller de kan være vasket ind i lagunen i stormvejr, specielt i perioder med nordlige vinde, som gav de største muligheder for vindstuvning.

Undersøgelserne har ud over at give detaljeret viden om det lokale transgressive estuarie til barriere lagunesystem også givet vigtig information om Østersøens Ancylus Sø fase. Ancylus Søens maksimale vandstand blev nået i den sydvestlige del af

Østersøen for omkring 10200 år siden, hvilket svar til perioden hvor barriere lagune systemet blev dannet. Tidligere studier i Østersøen viser at Ancylus Søens vandstand faldt med ca. 9 m for omkring 10000 år siden, hvilket normalt er blevet forklaret som en katastrofisk hændelse. Lavenergi lagune sedimentationsmiljøet i Kattegat taler tydeligvis ikke for den katastrofiske Danaflod drænering. Tværtimod bekræfter det undersøgelserne der blev foretaget ved Langelands Bælt tærsklen, hvor det blev konkluderet at der må have eksisteret en alternativ drænerings forbindelsesvej.

Projektfakta og tal

Siden det maringeologiske samarbejde blev indledt mellem Tyskland og Danmark i 1989 er der blevet indsamlet en meget stor mængde data, som efterfølgende er blevet tolket og for en stor dels vedkommende er rapporteret i internationale og nationale videnskabelige og populære tidsskrifter, samt ved foredrag og posters ved en lang række



Figur 25. Den tidlige Holocæne transgressive udvikling i den sydvestlige del af Kattegat illustreret ved 3 idealiserede profiler. **A:** I begyndelsen dominerede sandede og grusede sedimenter det transgressive kystsystem. **B:** Der udvikledes gradvist beskyttende sandodder foran flodmundingerne og på læsiden af odderne aflejreredes lamineret silt og ler. Transgressionen havde nået et niveau på omkring 28 m under nuværende havniveau for ca. 10500 år siden. **C:** Da transgressionsniveauet havde nået 24 m under nuværende havniveau druknede hele systemet og der udvikledes nye oddesystemer i kystzonen længere mod syd.

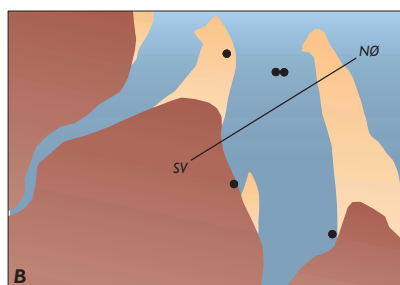
konferencer. I det følgende vil vi kort summere en række facts om det 12 årige projektforløb:

På de 17 togter der er foretaget er der i alt indsamlet mere end 7000 km seismiske profiler og der er boret omkring 350 op til 6 m dybe vibrationsboringer. I den samlede kernelængde på omkring 1500 m er der udtaget ca. 7000 prøver til kornstørrelsesbestemmelse, omkring 2000 diatoméprøver og et tilsvarende antal prøver til makrofossil bestemmelse. Normalt identificeres der mindst 400 fossil individer pr. prøve så et minimum af 80.000 individer er identificeret af hver fossil type.

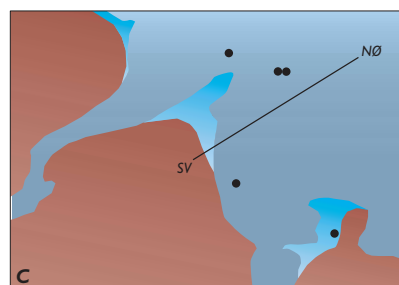
Løseligt beregnet er der hentet 20 tons sediment op fra havbunden, hvoraf de 3,5 tons er taget med hjem som prøver, for at blive analyseret på laboratoriet.

Der er præsenteret BALKAT data på mere end 25 konferencer i form af omkring 18 foredrag og 8 posters. Desuden er der publiceret 25 artikler i internationale og nationale tidsskrifter. Endelig er der i projektperioden produceret 5 kort med havbundsinformationer, som delvis stammer fra BALKAT projektet.

Selv om projektet er kørt på et lavt økonomisk budget har gennemførelsen også stor finansiell værdi, idet alene markedsværdien af de 12 års sejlads beløber sig til omkring 12 millioner kr.



Figur 26. Palæogeografisk kort der viser estuarie munden på det tidspunkt da transgressionen havde nået et niveau på omkring 28 m under det nuværende havniveau for ca. 10500 år siden (samme område som figur 23).



Figur 27. Palæogeografisk kort der viser oddesystemet da transgressionen havde nået et niveau på omkring 24 m under det nuværende havniveau. Det første kystsystem var på det tidspunkt druknet og barrieriekysten var "steppet" baglæns sydover (samme område som figur 23).

BALKAT Projektet



SAMFUNDET

Interessen for havbunden er øget kraftigt i de sidste par generationer, hvor aktiviteterne på havet er gået fra hovedsagelig at være fiskeri til at omfatte et netværk af kabler, vindmølleparker, sand og grus indvinding, olieinstallationer, sejlrønder, havdambrug osv.

Ovennævnte aktiviteter båndlægger en større og større del af havbunden og sammen med den øgede bekymring for havmiljøet har det skabt et behov for at samfundet kan administrere aktiviteterne på havet.

Med udgangspunkt i det faktum at mineralske råstoffer som sand, grus og sten er geologiske naturressourcer, hvis udbredelse og mængde er begrænset, har GEUS og Skov- og Naturstyrelsen foretaget en GIS kortlægning af råstofferressourcernes mængde, lokalisering og sammensætning samt den arealmæssige dækning af udnyttelses- og beskyttelses-hensyn.

Basis for udpegningen af blandt andet sand og grus råstofområder er maringeologiske undersøgelser, hvor BALKAT projektet har bidraget væsentligt. Forståelsen af den geologiske udvikling i den vestlige del af Østersøen og den sydlige del af Kattegat er således baggrund for udpegning af en række druknede fossile kystlinier og dynamiske aflejringssmiljøer som sand og grus råstofområder.

Den fremtidige afvejning af aktiviteterne på havbunden må ligeledes forventes at bygge på maringeologiske data, hvortil der vil blive stillet krav om en stigende detaljeringsgrad.



MILJØET

Havbundens geologi er genstand for en stigende interesse, efterhånden som det går op for samfundet at havbundens sedimenter ikke blot er den fysiske begrænsning af havet. Derimod indgår havbunden som habitat for fiskenes og fuglenes byttedyr, samtidig med at det er her at næsten alt som vi tilfører havet via afløb, floder og fra luften, ender med at blive deponeret.

Afsætningen på havbunden er dog alt andet end jævn og er sammen med hydrografiske forhold i høj grad afhængig af den forudgående aflejringshistorie. Maringeologiske undersøgelser har således ud over den rent akademiske interesse stor værdi for miljøvurderinger, idet havbundens sammensætning og morfologi afslører nuværende erosions, bypass og aflejringssmiljøer, risikoen for resuspension samt mulighederne for tilstedeværelsen af habitater i aktive eller fossile sedimenttyper.

Ud over den aktuelle miljøtilstand optræder havbundens sedimenter ligeledes som havets databank, hvor miljøbelastningen kan observeres i en kortere eller længere periode, der bl.a. kan inddrage et referenceniveau fra tiden inden den menneskeskabte forurening begyndte.

I BALKAT projektet har undersøgelserne af den geologiske udvikling i Østersøen siden istiden produceret data, der i væsentlig grad kan danne basis for miljøundersøgelser og den generelle kortlægning af havbundstyperne er anvendt til publicering af sedimentkort. En fremtidig opgave vil være at øge detaljegraden og at oversætte sedimentkortene til arealmæssig fordeling af forskellige habitater, hvilket indirekte angiver hvor stort fødegrundlaget er.



FORSKNINGEN

Maringeologiske undersøgelser er et multidisciplinært forskningsfelt, da det kun er muligt at aflæse havbundens dataarkiv ved at sammenholde seismiske, sedimentologiske, biostratigrafiske og AMS kulstof-14 dateringsdata. Nødvendigheden af skibstid betyder desuden at maringeologiske undersøgelser er meget omkostningstunge aktiviteter.

I erkendelse af dette har vi i BALKAT projektet samlet kræfterne i den sydvestlige del af Østersøen hvor GEUS, Institut für Ostseeforschung (IOV), Institute of Marine Sciences fra universitetet i Szczecin og AMS C-14 dateringslaboratoriet fra Århus Universitet er gået sammen om at undersøge den geologiske udvikling siden istiden i Østersøen vest for Bornholm og forbindelsesvejene til verdenshavet via de danske stræder. På baggrund af dette tolkes geologiske aflejringssmiljøer, fordelingen af land og vand (hav og ferskvand) samt mulig indflydelse på fauna- og flora-historie, klima, miljø og kulturhistorie i Østersø området.

BALKAT projektet har gennem en række publikationer ændret opfattelsen af Østersøens geologiske udvikling med hensyn til aflejringssforhold og vandstandsændringerne i den sydvestlige del af Østersøen i de tidlige efteristids søfaser (Baltiske Issø, Ancylus Søen) samt under Littorina Transgressionen.

Den fremtidige forskning i Østersøen vil blandt andet omfatte detaljerede undersøgelser af Littorina transgressionens vej gennem bælteerne til Østersøen. Det vil indebære at det multidisciplinære koncept udvides til også at omfatte de marin-arkæologiske fund, som knytter sig til denne periode.

Artikler

Lemke, W., Kuijpers, A., Hoffmann, G., Milkert, D., Atzler, R. (1994):

The Darss Sill, hydrographic threshold in the southwestern Baltic: Late Quaternary geology and recent sediment dynamics.- Continental Shelf Research, 14, 7/8, 847-870.

Lemke, W., Kuijpers, A. (1995):

Late Pleistocene and early Holocene paleogeography of the Darss Sill area (south-western Baltic).- Quaternary International, 27,73-81.

Jensen, J.B., Bennike, O., Witkowski, A., Lemke, W., Kuijpers, A. (1997):

The Baltic Ice Lake in the south-western Baltic: Mecklenburg Bay - Arkona Basin.- Boreas, 26, 217-236.

Bennike, O., Lemke, W., Jensen, J.B. (1998):

Fauna and flora in submarine early Holocene lake-marl deposits from the south-western Baltic Sea.- The Holocene, 8, 3, 353-358.

Bennike, O. and Jensen, J.B. (1998):

Late- and postglacial shore level changes in the southwestern Baltic Sea. Denmark. Bull. geol. Soc. Denmark, Vol. 45, 27-38.

Lemke, W., Endler, R., Tauber, F., Jensen, J.B., Bennike, O. (1998):

Late- and postglacial sedimentation in the Tromper Wiek northeast of Rügen (western Baltic).- Meyniana, 50, 155-173.

Jensen, J.B., Bennike, O., Witkowski, A., Lemke, W., Kuijpers, A. (1999):

Early Holocene history of the south-western Baltic Sea: the Ancylus Lake stage.- Boreas 28, 437-453.

Lemke, W., Jensen, J.B., Bennike, O., Witkowski, A., Kuijpers, A. (1999):

No indication of a deeply incised Dana River between Arkona Basin and Mecklenburg Bay.- Baltica 12, 66-70.

Bennike, O., Jensen, J.B., Konradi, P., Lemke, W., Heinemeier, J. (2000):

Early Holocene drowned lagoonal deposits from the Kattegat, southern Scandinavia.- Boreas, 29, 272-286.

Hermansen, B. and Jensen, J.B. (2000):

Digital Sea Bottom Sediment Map around Denmark. GEUS report 2000/68.

Lemke, W., Jensen, J.B., Bennike, O., Endler, R., Witkowski, A., Kuijpers, A. (2001):

Hydrographic thresholds in the western Baltic Sea: Late Quaternary geology and the Dana River concept.- Marine Geology, 176, 191-201.

Jensen, J.B., Strand, K., Konradi, P., Kuijpers, A., Bennike, O., Lemke, W. and Endler, R. (2002):

Neotectonics, sea- level changes and biological evolution in the Fennoscandian Border Zone of the Kattegat Sea. Boreas, 31, 133-150.

Jensen, J.B., Kuijpers, A., Bennike, O., Laier, T. and Werner, F. (2002):

New geological aspects for freshwater seepage and formation in Eckernförde Bay, Western Baltic.- Continental Shelf Research, 22, 2159-2173.

Publikationer fra GEUS

GEUS har udsendt den årlige rapport om grundvand:

"Grundvandsovervågning 2002"

Rapporten beskriver resultaterne af Vandmiljøplanens grundvandsovervågning som blev iværksat i 1987, dvs. effekten af de igangsatte tiltag til begrænsning af grundvandsforureningen. Det kan således forventes at en effekt kun langsomt vil kunne registrere en begrænsning af fx nitratforureningen som følge af disse tiltag, fordi en meget stor del af grundvandet vil være dannet før 1987.

I overvågningen indgår også pesticider og deres nedbrydningsprodukter både i større vandværker og i små vandforsyningsanlæg.

Vandværkernes borer er stadig kraftigt

påvirket af sprøjtemidler, idet der er fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i ca. hver tredje af de undersøgte borer, hvor grænseværdierne er overskredet i knap 8% af de undersøgte borer.

Rapporten kan købes hos GEUS og koster 160 kr.



GRUNDVANDSOVERVÅGNING



Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljøministeriet. Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på naturressourcer- og miljøområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark og Grønland.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår. Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer.

GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS

Er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Skriv, ring eller mail:

GEUS

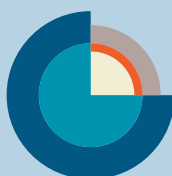
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Øster Voldgade 10, 1350 København K.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-post: geus@geus.dk

Internetside: www.geus.dk



GEUS

GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET, 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion: Annabeth Andersen.

Tryk: Schultz Grafisk A/S.

Forsidebillede: Peter Warnaa-Moors.

Illustrationer: Benny Scharck og Annabeth Andersen.